

centrale de cap
et de verticale V.A.R.S.

LA RÉFÉRENCE DE VERTICALE ET D'AZIMUT

SUR LE PATROUILLEUR NAVAL
BREGUET 1150 « ATLANTIC »

les missions du Breguet 1150 Atlantic

Le Breguet 1150 *Atlantic* est un avion de reconnaissance en haute mer et de lutte anti-sous-marine répondant aux spécifications de l'OTAN et dont l'étude et la fabrication en série ont été partagées entre la France, l'Allemagne et les Pays-Bas.

Pour remplir la fonction qui lui était assignée, l'avion devait d'une part emporter à son bord un armement anti-sous-marin très complet, d'autre part être équipé des systèmes les plus modernes de détection à longue et moyenne portée. Il devait avoir, en outre, un grand rayon d'action et être capable d'un vol prolongé sans ravitaillement.

Ces conditions ont fixé les caractéristiques du Breguet 1150 *Atlantic*. Rappelons qu'il se présente sous la forme d'un monoplan à aile médiane de grand allongement, d'un poids total de 43,5 t au décollage dont la propulsion est assurée par deux turbopropulseurs Rolls-Royce, Tyne Mk 21, de 6 105 ch entraînant une hélice quadripale De Havilland de 4,80 m de diamètre. L'équipage prévu est de douze hommes.

La structure du fuselage a été conçue pour satisfaire aux exigences du programme qui imposait que le poste de pilotage ainsi que les postes de travail et de repos soient dans une enceinte pressurisée pour permettre les vols de longue durée en altitude, alors que les soutes à bombes devaient rester non pressurisées.

Le fuselage est donc construit en bilobe, le lobe supérieur étant l'habitacle pressurisé. Le plancher constitue le plan sécant des deux cylindres. Le plan central de l'aile passe à travers le lobe inférieur, son extrados soutenant une partie du plancher.

L'empennage horizontal est placé à la partie supérieure du fuselage, l'empennage vertical comporte une dérive unique. L'atterrisseur tricycle est escamotable, les deux atterrisseurs principaux s'éclipsent dans les fuseaux-moteurs en pivotant vers l'avant, l'atterrisseur avant se replie dans le fuselage vers l'arrière.

Les soutes à bombes, très longues, peuvent contenir diverses armes allant jusqu'à des torpilles de grandes dimensions. Elles ont de longues portes qui s'ouvrent au sol et en vol en glissant vers le haut, sur la paroi extérieure du fuselage, guidées par des coulisses circulaires.

Les nécessités de la surveillance ont entraîné divers aménagements bien connus sur les avions de la Marine : la pointe avant du fuselage vitrée à sa partie inférieure constitue un poste de guet; un radome profilé, logé derrière le poste de pilotage, peut descendre en vol de façon à ne pas rencontrer de masque dans un plan horizontal sous le fuselage; deux emplacements vitrés à l'arrière servent de postes de guet latéraux; derrière la soute à bombes, un compartiment est destiné au lancement des bouées sonores et des marqueurs. Enfin, la pointe arrière du fuselage porte un long tube conique qui sert de support au détecteur de sous-marins M.A.D. (*Marine Automatic Detection*).

L'avion est doté également d'un radar de grande puissance. D'une envergure de 36,30 m, d'une longueur (avec le M.A.D.) de 32,20 m, le Breguet 1150 *Atlantic* peut voler à la vitesse maximale de 615 km/h. Il possède une autonomie de 18 h et son rayon d'action est de 9 000 km. Enfin, sa longueur de décollage est de 900 m et son plafond pratique de 10 000 m.

Les missions principales de ce patrouilleur naval sont la détection, l'attaque et la destruction des sous-marins, en particulier des sous-marins atomiques. L'avion, partant d'une base terrestre, doit pouvoir se rendre à une vitesse relativement élevée de l'ordre de 550 km/h dans la zone de surveillance en haute mer et l'altitude du vol doit être définie de façon à effectuer ce parcours dans les conditions optimales. Arrivé dans la région suspecte, il exécute une patrouille à basse altitude et à faible vitesse, en décrivant des zigzags très allongés au cours desquels il peut mouiller des bouées sonores et recevoir les indications d'hélicoptères équipés du système Sonar. Les allées et venues doivent couvrir toute la zone désignée. Si un sous-marin est détecté, les installations de bord permettent de l'identifier et de déterminer la direction et la vitesse de son déplacement. Suit alors l'attaque proprement dite, soit à la grenade, soit à la bombe, soit à la torpille (fig. 2, 3 et 4).

Le Breguet 1150 *Atlantic* peut effectuer également d'autres missions telles que la pose de mines, la reconnaissance maritime de surface, l'escorte des escadres, le sauvetage maritime, le transport de troupes.

La grande autonomie de vol de l'avion, qui le conduit à opérer en des secteurs lointains et variés où il est difficile qu'il puisse avoir l'appui des installations terrestres, la souplesse tactique que doit avoir son action, dans toutes les circonstances, nécessitent à son bord un équipement de navigation perfectionné et précis. En particulier, il doit disposer de références de verticale et d'azimut qui demeurent fidèles pendant les longues durées de vol prévues et ne soient pas perturbées par les manœuvres à basse altitude.

Le Breguet 1150 *Atlantic* est équipé de la centrale de cap et de verticale GPI, type VARS, fabriquée en série par la Société d'Applications Générales d'Électricité et de Mécanique (SAGEM). Ce matériel est décrit dans les chapitres qui suivent, et il sera montré, par une étude détaillée de ses constituants, comment cette centrale satisfait aux exigences de précision indiquées ci-dessus.

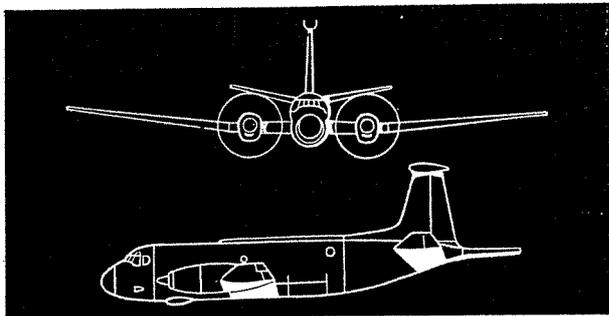


FIGURE 1. — Le patrouilleur naval Breguet 1150 « Atlantic » Fuselage bilobe. Aile avec plan central droit et plans extrêmes en dièdre (6°). Empennage horizontal avec dièdre important. A l'arrière du fuselage le cône support du système de détection M.A.D.

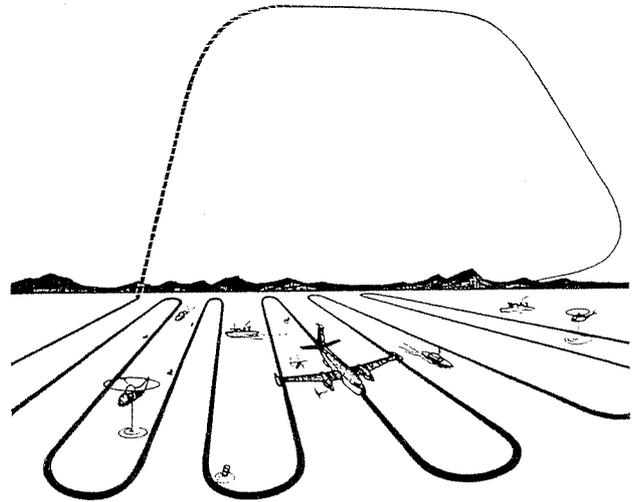


FIGURE 2. — La surveillance de la zone désignée.

FIGURE 3. — La détection du sous-marin en plongée.

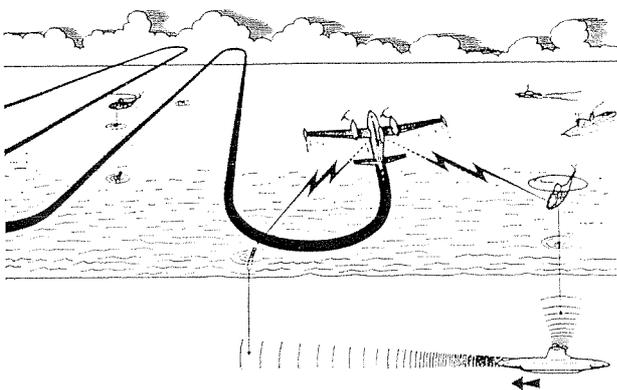
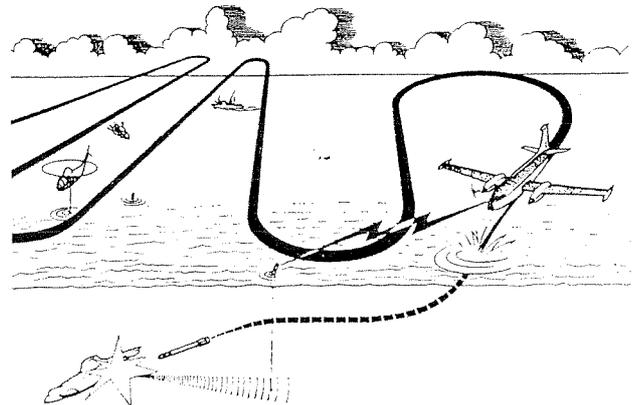
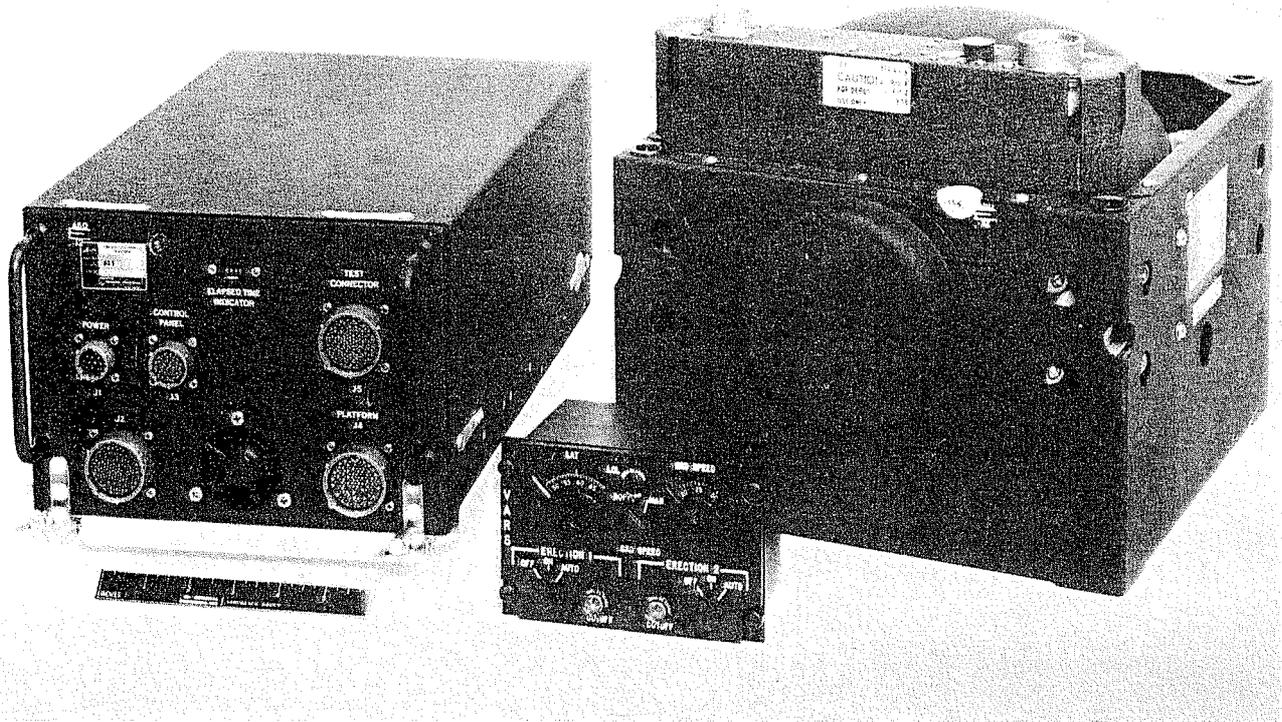


FIGURE 4. — L'attaque à la torpille.





Centrale de cap
et de verticale SAGEM,
type VARS :

à gauche, l'électronique

à droite, la centrale
proprement dite
dans son caisson,
support antivibratoire

devant : le boîtier
de commande
sur le tableau de bord

conception de la centrale de cap et de verticale

Cette conception est déterminée par deux impératifs majeurs :

- a) La précision requise;
- b) L'économie des moyens employés.

Pour satisfaire à la première condition, la centrale doit marquer un progrès important par rapport aux matériels classiques, notamment par rapport aux plus perfectionnés de ceux-ci, les plates-formes stabilisées équipées de deux gyroscopes à deux degrés de liberté.

Les caractéristiques optimales en la matière étant actuellement obtenues par les systèmes de navigation par inertie, il faut donc s'approcher le plus possible de leur conception et, par conséquent, l'on est conduit à retenir le principe d'une plate-forme à trois axes de cardan, stabilisée par trois gyromètres intégrateurs à un degré de liberté. Ces gyromètres détectent les écarts d'intégration de la plate-forme par rapport à l'espace absolu et commandent les rotations de correction correspondantes par l'intermédiaire de trois servo-moteurs.

La seconde condition résulte de trois considérations essentielles :

- La sécurité de fonctionnement liée à des solutions simples longuement éprouvées qui permettent d'obtenir un matériel robuste d'un entretien relativement aisé.
- Le caractère industriel de la fabrication qui conditionne, dans une certaine mesure, le dessin des pièces d'après le processus envisagé pour les produire.
- Le prix de revient.

Dans cette perspective, et compte tenu de l'application envisagée, certaines options ne peuvent être retenues. Ainsi les gyromètres intégrateurs utilisés ne sont pas des gyroscopes flottants, ce qui supprime quelques servitudes. De même les accéléromètres assurant l'asservissement à la verticale sont des niveaux à bulle électrolytiques de construction classique, identiques à ceux qui équipent les gyroscopes de verticale, leur précision étant suffisante pour remplir cette fonction.

La structure de la centrale de cap et de verticale découle de ces principes simples et nous allons la décrire en détail dans la suite.

la plate-forme proprement dite

Le cœur de la plate-forme a la forme d'un prisme droit dont la section est un triangle rectangle isocèle (fig. 5). Les faces latérales rectangulaires de ce prisme portent les deux gyromètres de verticale; la troisième, qui supporte le gyromètre de cap est perpendiculaire au plan bissecteur des deux autres. Les axes d'entrée des vitesses angulaires ou axes sensibles des trois gyromètres intégrateurs forment un trièdre trirectangle de façon à opérer la stabilisation de la plate-forme respectivement en tangage, en roulis et en lacet.

Cette disposition ne conduit pas à un encombrement prohibitif de la plate-forme proprement dite à cause des dimensions particulières des gyromètres intégrateurs. Dans ceux-ci, en effet, le boîtier gyroscopique ou équipage mobile se présente comme un boîtier cylindrique de grand diamètre (moment cinétique élevé) et de faible hauteur (les enroulements du stator du moteur à hystérésis sont partiellement logés à l'intérieur du volant d'inertie). D'autre part, son débaltement par rapport à l'anneau de cardan qui lui sert de support reste limité à deux degrés environ.

Enfin la platine supérieure porte deux niveaux électrolytiques à bulle dont les axes sensibles sont respectivement parallèles aux plans de fixation des deux gyromètres intégrateurs de verticale et qui permettent, comme on le verra plus loin, d'asservir la plate-forme à la verticale apparente.

le gyromètre intégrateur de verticale

Le principe de cet instrument est bien connu : il s'agit d'un gyroscope à un seul degré de liberté, c'est-à-dire dont le boîtier gyroscopique est supporté par un anneau de cardan solidaire du bâti extérieur, de telle sorte qu'il soit libre de se mouvoir autour d'un axe perpendiculaire à l'axe du rotor appelé axe de sortie. Si le gyroscope est sollicité par une vitesse angulaire autour d'un troisième axe perpendiculaire à la fois à l'axe du rotor et à l'axe de sortie et appelé axe d'entrée ou axe sensible, l'équipage mobile est soumis à un couple gyroscopique proportionnel à cette vitesse angulaire et au moment cinétique de la toupie, qui tend à le faire tourner. Le gyroscope est intégrateur si ce couple est uniquement équilibré par le couple d'amortissement de la rotation. Dans ce cas, l'angle dont a tourné l'équipage mobile entre deux instants déterminés est proportionnel à l'intégrale entre ces deux mêmes instants de la vitesse angulaire autour de l'axe d'entrée.

Comme il a été dit, le principe de la flottaison n'a pas été retenu pour ce gyromètre intégrateur. Or il est nécessaire que les couples de frottement apparaissant sur l'axe de sortie soient aussi faibles que possible. Ce résultat est obtenu en disposant le gyromètre intégrateur sur la plate-forme de telle sorte que son axe de sortie soit vertical et en supprimant par un fil de suspension la charge axiale des roulements de l'équipage mobile. Bien entendu, le fil ne doit pas introduire de couple de rappel.

L'absence de flottaison oblige à faire appel également à un dispositif original d'amortissement. Celui-ci est constitué par deux armatures de forme cylindrique, jouant le rôle d'un rotor et d'un stator, entre lesquelles est ménagé un entrefer très réduit. En interposant dans cet entrefer une huile de silicone de viscosité convenable, la rotation relative des deux éléments produit le couple d'amortissement recherché. Un ajustement précis des diamètres permet d'avoir un couple élevé, bien défini. Il faut aussi qu'il demeure constant dans un intervalle de températures compris entre -40°C et $+70^{\circ}\text{C}$. Or la viscosité de l'huile varie avec la température, ce qui conduit donc à chauffer le dispositif de façon à maintenir la température dans des limites beaucoup plus étroites. La variation de viscosité de l'huile peut également être compensée par une variation de la largeur de l'entrefer en jouant sur les coefficients de dilatation des deux armatures.

Les éléments principaux du gyromètre intégrateur de verticale sont représentés sur la figure 6. On y distingue notamment le détecteur angulaire qui permet de mesurer la rotation de l'équipage mobile autour de l'axe de sortie, un moteur-couple porté par le même axe qui permet un recalage éventuel de la plate-forme, enfin le système d'amortissement décrit ci-dessus avec les fils d'alimentation des résistances de chauffage. L'anneau de cardan, support de l'instrument, est fixé par quatre vis sur les bossages de la plate-forme.

Deux gyromètres intégrateurs identiques sont montés de cette façon sur les deux faces rectangulaires du prisme droit qui constitue le cœur de la plate-forme proprement dite. Leurs axes d'entrée sont horizontaux et perpendiculaires. Ils assurent ainsi la stabilisation de la plate-forme en tangage et en roulis.

FIGURE 5
La plate-forme
proprement dite

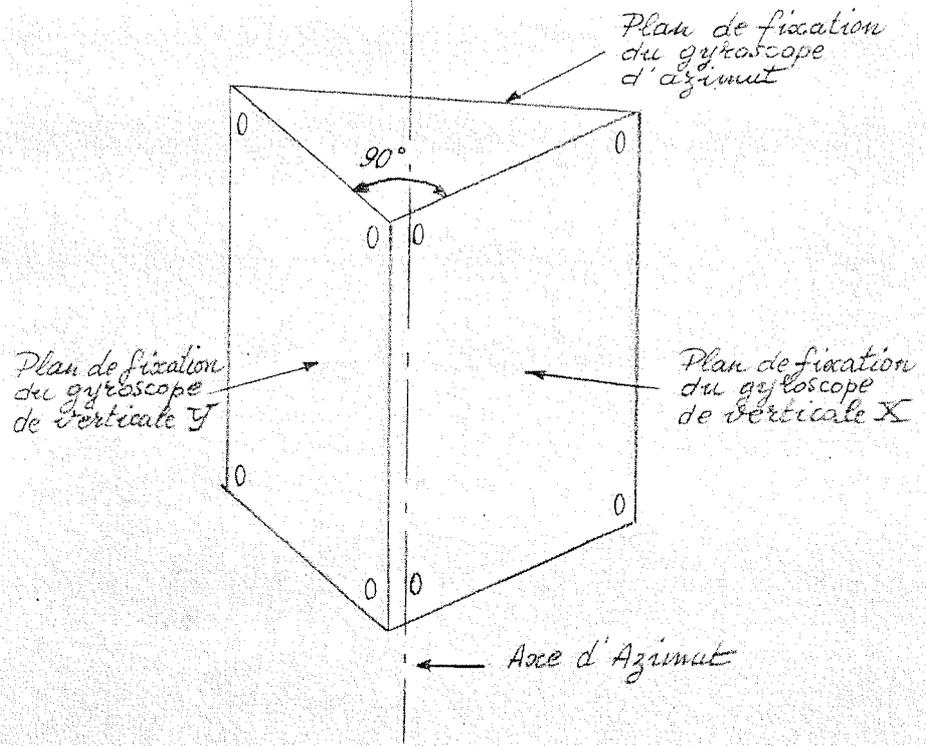


FIGURE 6
Constitution
du gyroscope
de verticale

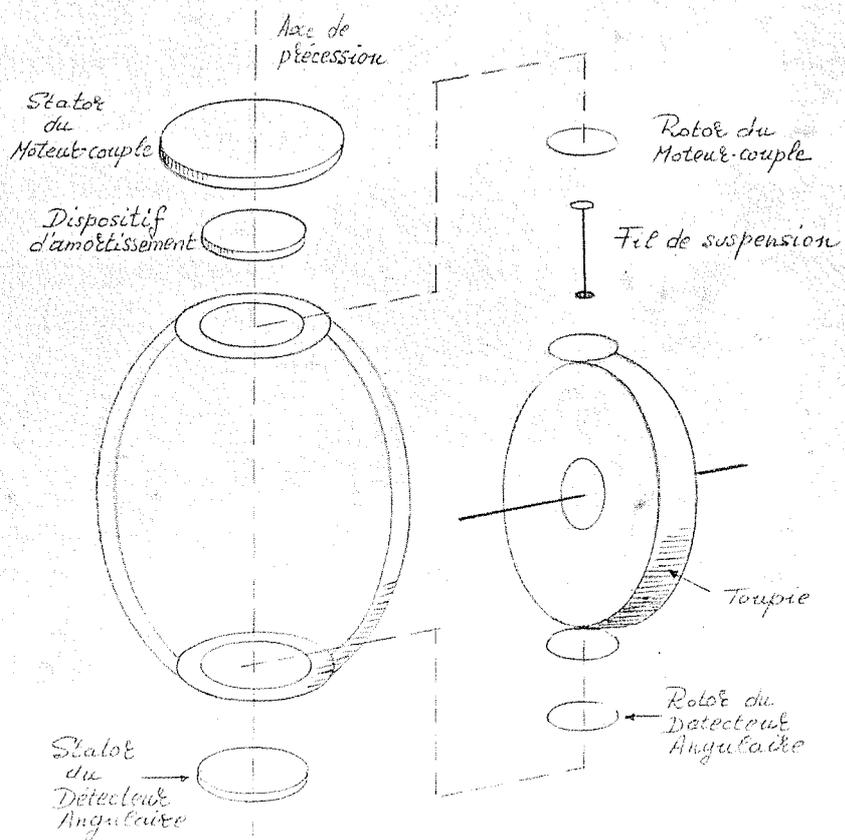


FIGURE 7 a
Structure
de l'ensemble
de la plate-forme

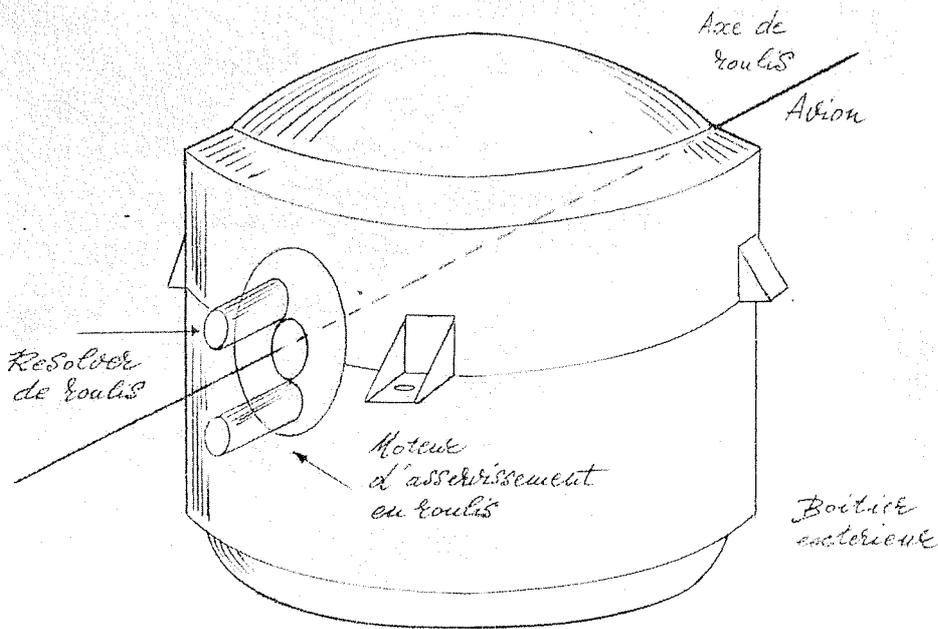
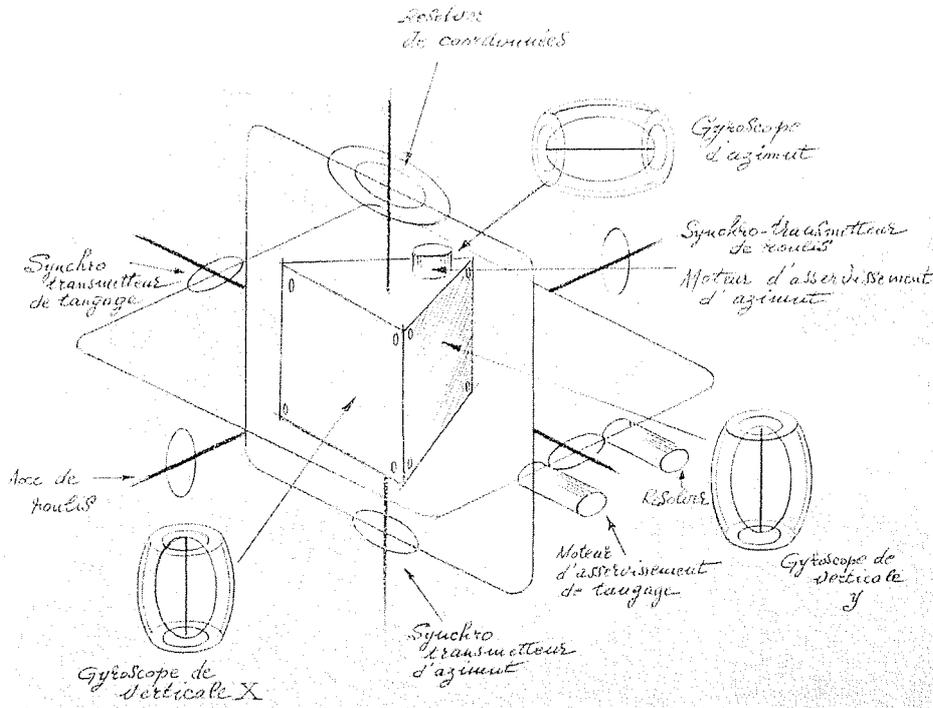


FIGURE 7 b

le gyromètre intégrateur d'azimut

Cet instrument est encore un gyroscope à un degré de liberté, non flottant, dont la structure (boîtier de loupie, anneau de cardan) est très voisine de celle des gyromètres intégrateurs de verticale. Pour assurer la stabilisation en lacet, il doit être fixé sur la plate-forme proprement dite de telle sorte que son axe d'entrée soit vertical (fig. 7). L'axe de sortie est donc horizontal et la suspension par fil de l'équipage mobile, utilisée pour les gyromètres de verticale, ne peut être employée dans ce cas.

Pour réduire le couple de frottement des roulements de suspension, il est fait appel alors à un procédé connu qui consiste à communiquer à leur bague extérieure un mouvement de rotation alterné. Rappelons en effet que le couple de frottement d'un roulement prend, au démarrage, sa valeur la plus grande et qu'une légère augmentation de la vitesse de rotation suffit à le réduire dans une proportion importante. En poussant plus loin l'investigation, traçant la courbe de variation de ce couple de frottement en fonction de la vitesse, on met en évidence un intervalle de vitesse pour lequel le couple est minimal.

Si la bague extérieure du roulement, au lieu d'être solidaire du bâti, est portée par un second roulement coaxial, il sera possible de lui communiquer une rotation artificielle permettant de se placer dans les conditions optimales indiquées plus haut. Ce système a déjà été employé aux États-Unis et en France sur des gyroscopes directionnels à deux degrés de liberté (voir *Air Techniques*, n° 1, 1962).

L'équipage mobile du gyromètre intégrateur d'azimut est donc supporté par deux roulements à double cage, dits « actifs », c'est-à-dire comportant trois bagues et deux ensembles de billes : bague intérieure emmanchée sur le pivot du boîtier gyroskopique, bague extérieure fixe et bague intermédiaire solidaire d'une roue dentée entraînée en rotation par un petit moteur électrique.

La figure 8 donne le détail de ce dispositif d'entraînement. Un arbre monté sur des roulements miniatures permet de communiquer, simultanément, aux roues dentées des deux roulements, par le moyen de réducteurs à engrenages, des rotations alternatives constamment opposées. L'amplitude de l'oscillation angulaire est fixée expérimentalement de façon à obtenir le meilleur résultat statistique moyen : généralement elle correspond à plusieurs tours de la bague intermédiaire.

En dehors de ce système particulier de suspension, le gyromètre intégrateur d'azimut est équipé des éléments principaux déjà rencontrés sur les gyromètres intégrateurs de verticale : détecteur angulaire (rotor à six pôles), moteur-couple, dispositif d'amortissement. On peut remarquer que l'armature interne de ce dispositif est constituée par le support du rotor du moteur-couple, afin de réduire l'encombrement de l'instrument.

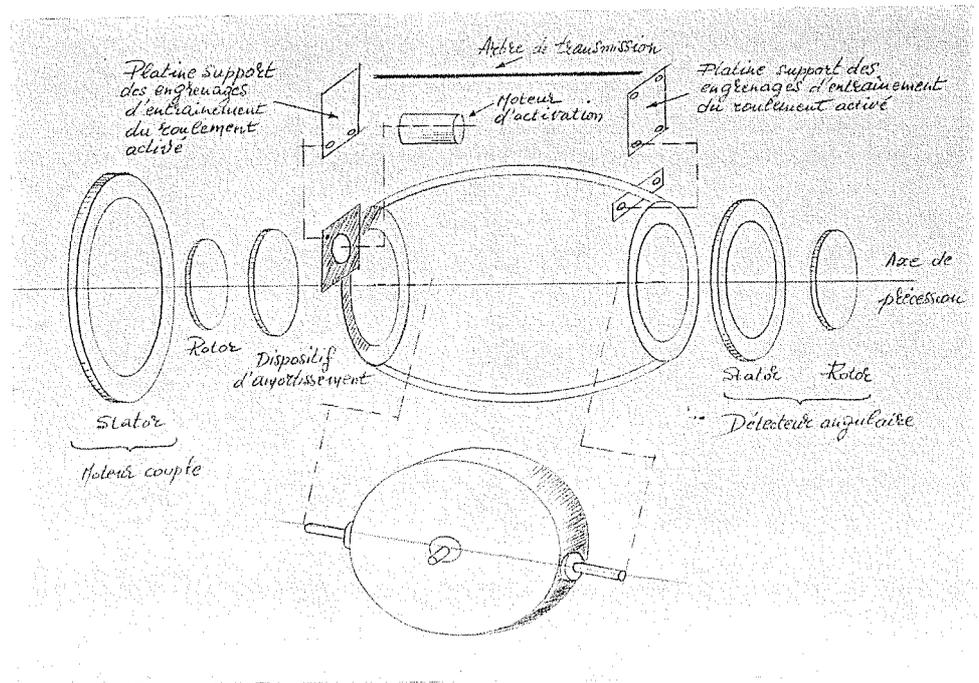


FIGURE 8
Constitution
du gyroscope d'azimut

constitution d'ensemble de la centrale

L'architecture d'une centrale à trois degrés de liberté est conditionnée par l'encombrement de la plate-forme proprement dite : de ses dimensions en effet dépendent les dimensions des anneaux de cardan et donc, dans une certaine mesure, leur rigidité.

L'agencement du cœur de la plate-forme, tel qu'il a été décrit, et la forme particulière des gyromètres, qui se présentent comme des instruments plats fixables par une collerette, réduisent beaucoup, dans le cas présent, le volume de la plate-forme proprement dite et cette caractéristique importante confère à l'ensemble de la centrale une structure ramassée qui rend ses éléments très peu déformables sous l'effet des accélérations auxquelles ils sont soumis en service.

Cette qualité est renforcée par la conception des anneaux de cardan qui permet d'obtenir une très grande rigidité avec un minimum de poids (fig. 9).

La stabilisation de la plate-forme est assurée de façon très classique par trois chaînes d'asservissement commandées par les trois gyromètres intégrateurs.

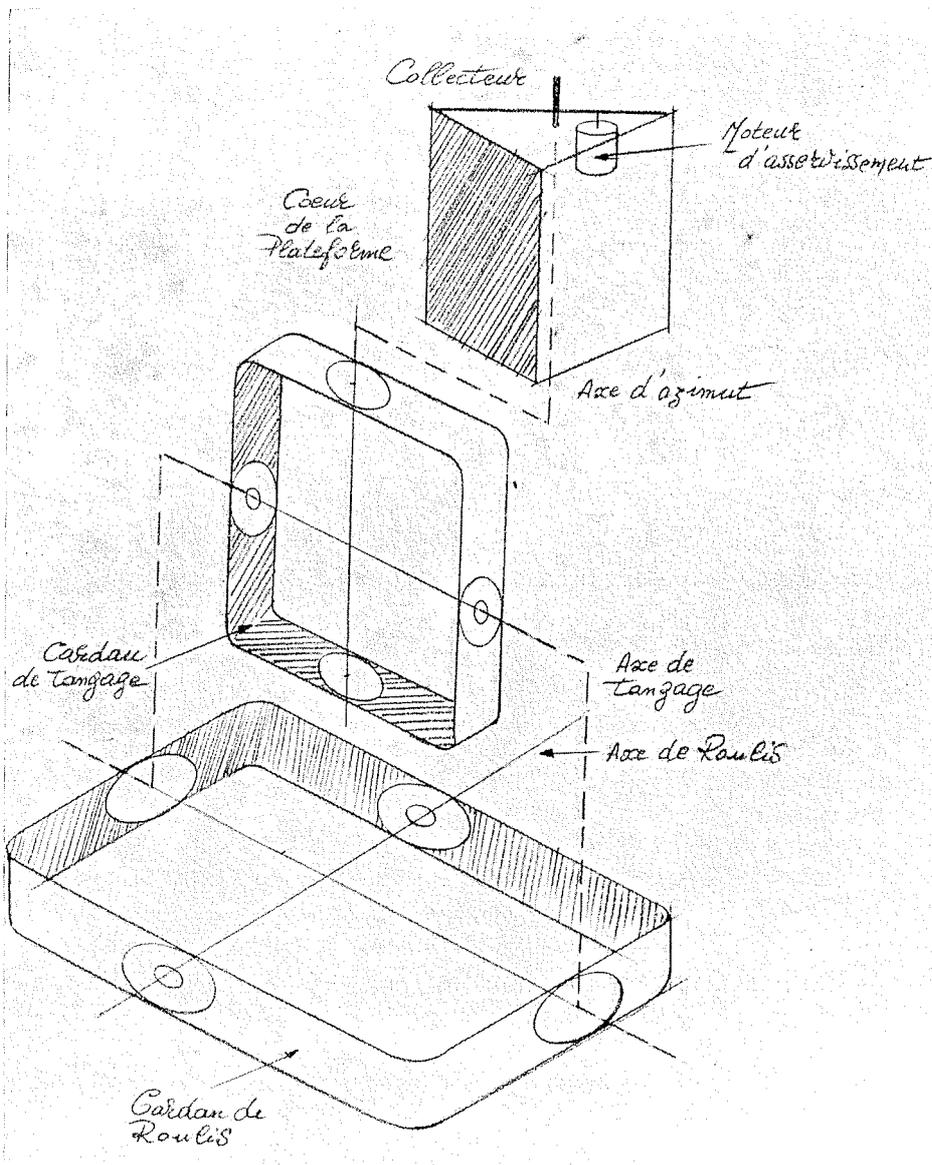


FIGURE 9

Si l'on part de la structure porteuse, les corrections de stabilisation doivent être apportées :

- au mouvement de l'anneau de cardan extérieur par rapport à la structure porteuse, contrôlé par un des gyromètres de verticale;
- au mouvement de l'anneau de cardan intérieur par rapport à l'anneau de cardan extérieur contrôlé par le second gyromètre de verticale;
- enfin au mouvement de la plate-forme par rapport à l'anneau de cardan intérieur qui est contrôlé par le gyromètre d'azimut.

Ce dernier commande directement sa chaîne d'asservissement, c'est-à-dire que le signal électrique délivré par son détecteur angulaire consécutivement à une rotation de déséquilibre de la plate-forme commande, après amplification, la rotation du moteur d'asservissement qui provoque la correction convenable autour de l'axe de cardan de la plate-forme.

Il n'en est pas de même pour les deux autres gyromètres dont les axes sensibles peuvent occuper toutes les positions dans le plan perpendiculaire à l'axe de cardan de la plate-forme, selon l'orientation de la structure porteuse. Il faut donc intercaler, entre leurs détecteurs angulaires et les amplificateurs d'asservissement, un distributeur d'ordres ou resolver qui opère constamment le changement de coordonnées.

Dans ces conditions, le schéma des asservissements de la centrale est représenté à la partie supérieure de la figure 10.

recherche de la verticale vraie

La centrale doit fournir en premier lieu la référence de verticale vraie qui permet de connaître, à chaque instant, les assiettes longitudinale et transversale de l'avion.

Au lieu de conserver à la plate-forme une orientation fixe dans l'espace absolu, les asservissements relatifs aux axes de cardan extérieurs, c'est-à-dire contrôlant les rotations :

- de l'anneau de cardan extérieur par rapport à la structure porteuse;
- de l'anneau de cardan intérieur par rapport à l'anneau de cardan extérieur,

voit astreindre l'axe de cardan de la plate-forme proprement dite à demeurer orienté selon la verticale vraie.

Pour obtenir ce résultat, deux niveaux électrolytiques à un seul axe sensible sont fixés sur le cœur de la plate-forme de telle sorte que leurs axes de mesure soient respectivement parallèles aux axes d'entrée des gyromètres intégrateurs de verticale.

Lorsque l'axe de cardan de la plate-forme proprement dite s'écarte de la verticale, l'inclinaison des deux niveaux électrolytiques a pour effet de les rendre conducteurs et un courant d'intensité constante

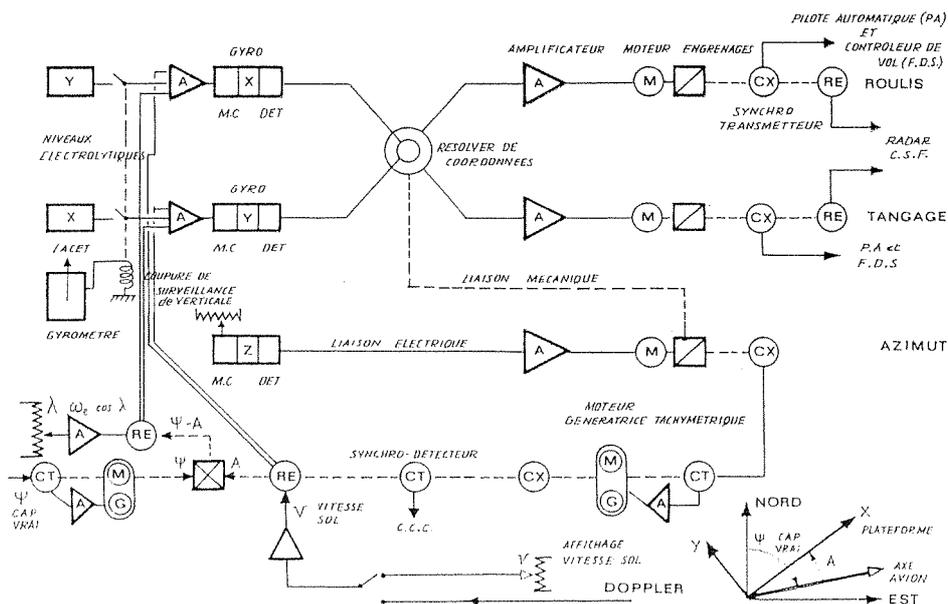


FIGURE 10
Schéma
des
asservissements

est appliqué par l'intermédiaire d'amplificateurs de commande aux moteurs-couple des deux gyromètres intégrateurs de verticale, de façon à provoquer les rotations des anneaux de cardan annulant cet écart. (Il est nécessaire d'utiliser des amplificateurs à l'entrée des moteurs-couple afin que le courant traversant le liquide électrolytique ne dépasse pas la valeur au-delà de laquelle il y a risque de décomposition chimique. L'intérêt du liquide électrolytique vis-à-vis du mercure par exemple est d'avoir une plus grande mobilité et mouillabilité, l'effet de balourd dû au déplacement de la masse liquide étant également considérablement réduit.)

Mais on sait qu'un pendule simple de masse m placé dans un avion ne s'oriente pas selon la verticale vraie mais selon la résultante de trois forces à savoir :

- l'action de la pesanteur \vec{mg} ;
- la force d'inertie due à l'accélération relative de l'avion par rapport à la terre $-\vec{m}\vec{\gamma}$;
- la force d'inertie complémentaire dite de Coriolis due à la rotation terrestre $\vec{\omega}_e$ et à la vitesse relative de l'avion par rapport à la terre \vec{V} et représentée par le vecteur $-2m\vec{\omega}_e \wedge \vec{V}$.

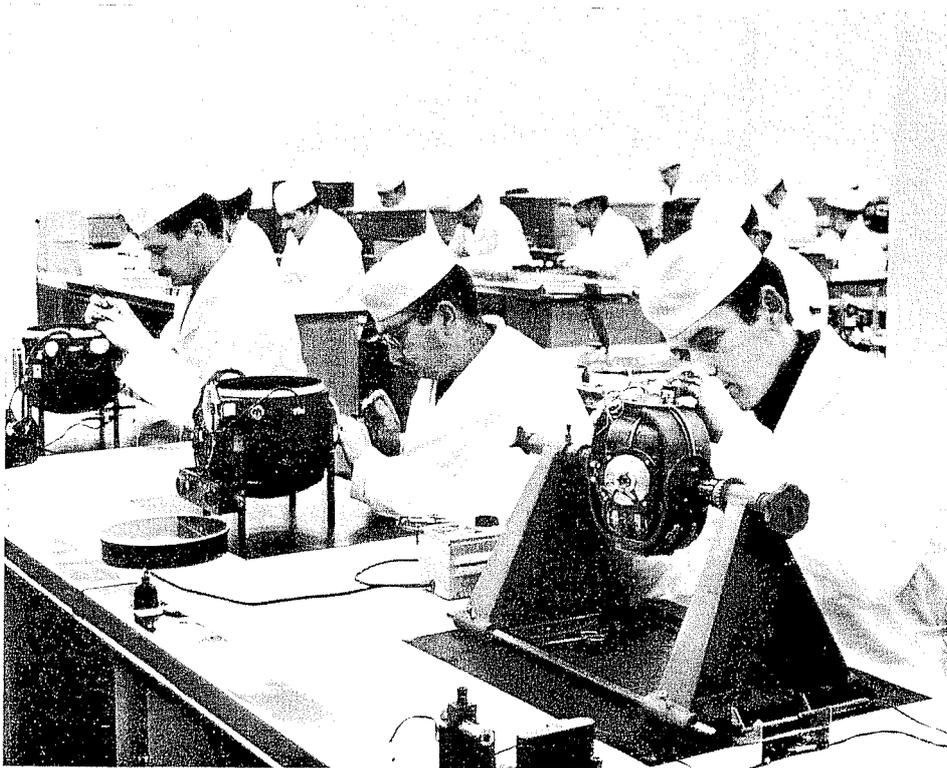
La résultante de ces trois forces définit ce que l'on appelle la « verticale apparente ».

Les niveaux électrolytiques étant sensibles à la verticale apparente, on peut éliminer l'influence perturbatrice de l'accélération de l'avion en coupant leur surveillance, soit manuellement au cours de certaines évolutions, soit automatiquement en virage à l'aide d'un interrupteur commandé par un gyromètre de lacet (*rate switch*). Ce dernier est actionné dès que la vitesse angulaire de lacet dépasse une valeur donnée.

Dans ce cas, la plate-forme conserve l'orientation qu'elle avait au moment de la coupure, c'est-à-dire que la centrale conserve en mémoire la référence de verticale vraie qu'elle possédait à ce moment-là et qui, tant que la surveillance est coupée, n'est plus faussée que par la dérive des gyromètres intégrateurs de verticale, dérive très faible comme il est indiqué plus loin.

Lorsque l'on maintient au contraire la surveillance des niveaux électrolytiques, on risque de faire suivre à la plate-forme les fluctuations de la verticale apparente par rapport à la verticale vraie. Cet inconvénient peut être évité moyennant certaines précautions.

L'expérience montre, qu'en l'absence d'accéléérations importantes, les écarts de la verticale apparente par rapport à la verticale vraie ont une valeur moyenne pratiquement nulle quand on la détermine sur une durée d'intégration d'au moins deux minutes. De plus, aucune oscillation périodique à long terme ne peut être décelée.



Centrale de cap
et de verticale SAGEM,
type VARS
montage et câblage
de l'ensemble :
au premier plan les deux
anneaux de cardan ;
plus loin le boîtier extérieur

Supposons qu'à un instant t l'axe de cardan de la plate-forme soit orienté selon la verticale vraie. Si la verticale apparente vient s'écarter de la verticale vraie d'un angle θ (pour simplifier, nous admettrons que cet écart n'intéresse qu'un seul niveau électrolytique et le gyromètre intégrateur auquel il est associé) un couple de correction $-K\theta$ sera appliqué par le moteur-couple autour de l'axe de sortie du gyromètre considéré. Il en résultera une rotation de la plate-forme autour de l'axe d'entrée à une vitesse angulaire $\frac{d\alpha}{dt}$ telle que :

$$H \frac{d\alpha}{dt} = -K\theta$$

(équilibre des couples autour de l'axe de sortie en régime permanent, H étant le moment cinétique du gyromètre intégrateur).
Intégrons maintenant sur une durée T et désignons par α_T l'orientation de la plate-forme à l'instant $t+T$, il vient :

$$H \alpha_T = K \int_0^T \theta dt.$$

Le rapport $\frac{H}{K}$ a les dimensions d'un temps. H étant donné si l'on fixe K de telle sorte que :

$$\frac{H}{K} = T \geq 2 \text{ mn.}$$

au bout de ce temps T , l'axe de cardan de la plate-forme sera encore orienté selon la verticale vraie. On déduit de cette considération le gain K à donner à la chaîne de surveillance, appelé encore *taux d'érection*.

précision de la verticale correcteur de verticale

En écrivant l'équation d'équilibre des couples autour de l'axe de sortie, on a supposé la dérive du gyromètre intégrateur négligeable. Il n'en est pas ainsi dans la pratique. L'orientation finale de la plate-forme sera donc atteinte lorsque le couple de correction appliqué par le système de surveillance sera équilibré par les couples responsables de la dérive des gyromètres intégrateurs. Or, cette dérive se décompose en la somme de trois termes :

- un terme aléatoire dû aux couples de frottement autour de l'axe de sortie;
- un terme systématique dû au balourd résiduel de l'équipage mobile;
- enfin une dérive apparente due à la rotation terrestre et au déplacement de l'avion.

Si donc l'on s'est fixé une précision dans la détermination de la verticale, on devra :

- dans le premier cas, réduire le plus possible les couples de frottement;
- dans le second cas, assurer le mieux possible l'équilibrage de l'équipage mobile;
- enfin, éliminer la dérive apparente en compensant par un couple de correction supplémentaire l'effet de la rotation terrestre et du déplacement de l'avion.

Des tensions de correction élaborées par un calculateur analogique annexe appelé *correcteur de verticale* seront donc appliquées, à travers des amplificateurs, aux moteurs-couple des deux gyromètres.

Le calcul de ces éléments de correction s'effectue en deux stades :

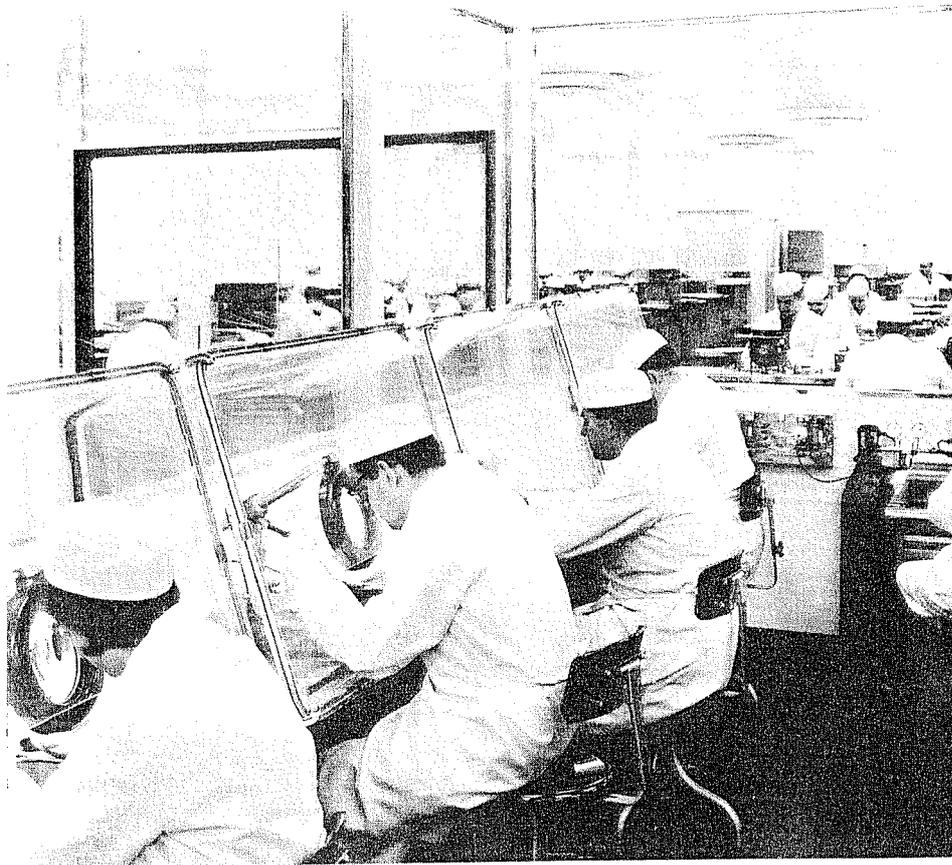
a) On élabore les deux expressions suivantes :

En un point de latitude λ , la correction due à la rotation terrestre. La verticale locale « tourne » vers l'est par rapport à l'espace absolu à la vitesse angulaire $\omega_e \cos \lambda$ (ω_e vitesse de rotation de la terre).

D'autre part, tout déplacement à la surface de la terre est équivalent à une rotation de la verticale locale. La correction à introduire pour compenser cet effet est proportionnelle à la vitesse angulaire

de cette rotation, soit $\frac{V_s}{R}$ rad/s (V_s : vitesse de déplacement de l'avion par rapport au sol; R rayon terrestre).

b) Par rapport aux coordonnées de la plate-forme, il faut effectuer un changement de coordonnées.



Centrale de cap
et de verticale SAGEM,
type VARS
montages de précision
dans des enceintes
sans poussière

Le terme $\omega_e \cos \lambda$ est pris par rapport aux coordonnées géographiques, le terme $\frac{V_s}{R}$ par rapport aux coordonnées avion. La rotation des axes sera donc, dans les deux cas, introduite par deux resolveurs :

- le rotor du premier est asservi à l'angle $\psi - A$, ψ étant le cap vrai, A l'angle de l'axe longitudinal plate-forme par rapport à l'axe longitudinal avion;
- pour le second resolver, le rotor est asservi à l'angle A .

On affiche sur le panneau de contrôle du calculateur la latitude locale et la vitesse sol (celle-ci peut être fournie également par un radar Doppler). Le cap avion et le cap plate-forme sont recopiés dans le calculateur. La différence de ces caps est élaborée par un différentiel mécanique à la sortie duquel est monté le resolver de distribution de la correction $\omega_e \cos \lambda$.

*
*
*

Nous pensons avoir suffisamment étudié dans le détail les raisons pour lesquelles la centrale de cap et de verticale SAGEM, licence G.P.I., est susceptible de fournir les références précises qui sont nécessaires au patrouilleur naval Breguet 1150 *Atlantic*. L'économie des moyens utilisés, soulignée au début de cet article, permet d'avoir une plate-forme stabilisée à trois axes de cardan équipée de gyromètres intégrateurs dans un encombrement réduit (hauteur : 290 mm; largeur : 308 mm; profondeur : 335 mm) avec un poids non prohibitif (14,250 kg, y compris le support antivibratoire).

L'indication des performances constituera la meilleure conclusion :

Dans le cas d'un vol en ligne droite, la précision de la verticale est meilleure que 30 mn d'arc.

Dans le cas d'un vol en évolutions, le système de surveillance par les niveaux électrolytiques étant coupé, la dérive en verticale reste inférieure à 1,5°/h.

La dérive en azimut est, d'autre part, meilleure que 0,33°/h sans recalage d'un jour à l'autre avec une variation de dérive maximale de 0,36°/h par trois cents heures de fonctionnement.